

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. Dezember 2003 (11.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/102264 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: C23C 16/34

(74) Anwalt: VIERING, Hans-Martin; Viering, Jentschura & Partner, Steinsdorfstr. 6, 80538 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01552

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Mai 2003 (14.05.2003)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, KR, SG, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 23 954.1 29. Mai 2002 (29.05.2002) DE

Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VOGT, Mirko [DE/DE]; Burckhardtstr. 9, 01307 Dresden (DE).

(54) Title: PLASMA-ENHANCED CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION METHOD FOR DEPOSITING SILICON NITRIDE OR SILICON OXYNITRIDE, METHOD FOR PRODUCING ONE SUCH LAYER ARRANGEMENT, AND LAYER ARRANGEMENT

(54) Bezeichnung: PLASMAANGEREGETES CHEMISCHES GASPHASENABSCHIED-VERFAHREN ZUM ABSCHIEDEN VON SILIZIUMNITRID ODER SILIZIUMOXINITRID, VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER SCHICHT-ANORDNUNG UND SCHICHT-ANORDNUNG

(57) Abstract: The invention relates to a plasma-enhanced chemical vapour deposition method (PECVD) for depositing silicon nitride or silicon oxynitride, to a method for producing a layer arrangement, and to a layer arrangement. According to the plasma-enhanced chemical vapour deposition method for depositing silicon nitride on a substrate, silane, ammonia and nitrogen are used as precursors, the flow rate ratio of silane to ammonia is set between 1:20 and 6:5, and the flow rate ratio of silane to nitrogen is set between 1:40 and 3:5.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabsch-Verfahren (PECVD) zum Abscheiden von Siliziumnitrid bzw. Siliziumoxinitrid, ein Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung und eine Schicht-Anordnung. Bei dem Plasmaangeregten chemischen Gasphasenabsch-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumnitrid auf einem Substrat werden Silan, Ammoniak und Stickstoff als Precursoren verwendet, wird das Flussratenverhältnis von Silan zu Ammoniak zwischen 1:20 und 6:5 eingestellt und wird das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff zwischen 1:40 und 3:5 eingestellt.

WO 03/102264 A2

Beschreibung

Plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumnitrid oder Siliziumoxinitrid,
5 Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung und Schicht-Anordnung.

Die Erfindung betrifft ein Plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabscheide-Verfahren (PECVD, „plasma Enhanced
10 Chemical Vapour Deposition“) zum Abscheiden von Siliziumnitrid, ein Plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid, ein Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung sowie eine Schicht-Anordnung.

15 Metall-Isolator-Metall-Kondensatoren (MIM-Kondensatoren) sind in der Regel aus einer ersten metallischen Schicht auf einem Substrat, einer auf der ersten metallischen Schicht angeordneten dielektrischen Schicht und einer auf der
20 dielektrischen Schicht angeordneten zweiten metallischen Schicht aufgebaut. Die drei Schichten eines MIM-Kondensators werden mit halbleitertechnologischen Verfahren auf die Substrat-Oberfläche aufgebracht.

25 Ein MIM-Kondensator ist für eine Reihe technischer Anwendungen interessant. So kann ein MIM-Kondensatoren in einem Radiofrequenz-Schaltkreis (RF-Schaltkreis), in einem analogen integrierten Schaltkreis oder in einem Hochleistungsmikroprozessor (MPUs) verwendet werden. Ferner
30 besteht eine wirtschaftlich interessante Anwendung eines MIM-Kondensators darin, dass er als Speicherkondensator in einem DRAM-Speicher ("Dynamic Random Access Memory") verwendet werden kann. Ferner ist es möglich, einen MIM-Kondensator in einer Flüssigkristallanzeige (LCD) zu verwenden. Auch in
35 einem Logik-Schaltkreis findet eine MIM-Kapazität verstärkt Anwendung.

Eine wichtige Anforderung an einen MIM-Kondensator ist, dass dessen Kapazität C ausreichend groß ist. Die Kapazität eines Plattenkondensators berechnet sich gemäß der Beziehung

5
$$C = \epsilon A / d \quad (1)$$

10 Dabei ist ϵ ist die relative Dielektrizitätskonstante des zwischen den Kondensatorplatten eingebrachten Mediums, A ist die Fläche einer Platte des Plattenkondensators und d ist der Plattenabstand zwischen den beiden Platten des Kondensators.

Um eine ausreichend große Kapazität zu erreichen, kann die Fläche des Kondensators A entsprechend ausreichend groß gewählt werden. Es ist allerdings ein bedeutendes Ziel der
15 Silizium-Mikroelektronik, zunehmend kleinere Strukturen zu entwickeln. Daher ist das Erreichen einer ausreichend hohen Kapazität eines MIM-Kondensators mittels Erhöhen der Plattenfläche des Kondensators mit dem Ziel einer fortschreitenden Miniaturisierung von integrierten
20 Schaltkreisen nicht kompatibel. Ferner kann, wie sich aus Gleichung (1) ergibt, der Abstand zwischen den beiden Platten, d.h. die Dicke d der dielektrischen Schicht zwischen den beiden metallischen Schichten des MIM-Kondensators, ausreichend klein gewählt werden. Sofern die
25 Schichtdicke eines MIM-Kondensators eine Dimension von etwa 50nm unterschreitet, treten Probleme hinsichtlich dessen elektrischer Stabilität auf, beispielsweise können elektrische Durchbrüche auftreten, und elektrische Leckströme können zunehmen.

30

Daher ist es erstrebenswert, dass die Dielektrizitätskonstante der dielektrischen Schicht zwischen den beiden metallischen Schichten eines MIM-Kondensators möglichst hoch ist.

35

Gemäß dem Stand der Technik wird als Material für die dielektrische Schicht eines MIM-Kondensators häufig

stöchiometrisches Siliziumnitrid (Si_3N_4) oder stöchiometrisches Siliziumoxid, d.h. Siliziumdioxid (SiO_2), verwendet. Siliziumnitrid weist die Eigenschaft auf, dass die Dielektrizitätskonstante ($\epsilon=6-7$) vorteilhaft hoch ist.

5 Allerdings weisen Siliziumnitrid-Schichten verwendet als dielektrische Schichten eines MIM-Kondensators den Nachteil auf, dass die elektrische Durchbruchfeldstärke relativ gering ist (ungefähr 2MV/cm). Dagegen ist die Durchbruchfeldstärke von Siliziumdioxid vorteilhafterweise deutlich größer als bei
10 Siliziumnitrid (ungefähr 6MV/cm), aber die relative Dielektrizitätskonstante von Siliziumdioxid ($\epsilon=4$) ist deutlich geringer als die von Siliziumnitrid.

Das Ausbilden einer dielektrischen Schicht eines MIM-
15 Kondensators erfolgt gemäß dem Stand der Technik beispielsweise mittels thermischen Aufwachsens oder gemäß dem CVD-Verfahren („Chemical Vapour Deposition“).

Das CVD-Verfahren ist eine Beschichtungstechnologie zum
20 Abscheiden dünner Schichten aus der Gasphase auf einem festen Substrat. Das Prinzip des CVD-Verfahrens besteht darin, dass gasförmige Ausgangsmaterialien, sogenannte Precursoren, über ein Substrat geleitet und chemisch in deren Bestandteile zerlegt werden, wodurch auf der Substrat-Oberfläche eine neue
25 Schicht aufwächst. Das Zerlegen der Precursoren erfolgt zumeist thermisch, d.h. mittels Heizens des Substrats. Das eigentliche Abscheiden erfolgt unter Beteiligung einer chemischen Reaktion, beispielsweise reagiert eine flüchtige gasförmige Komponente mit einem anderen Gas zu einem festen
30 Material, das auf dem Substrat abgeschieden wird. Allerdings weist das CVD-Verfahren den Nachteil auf, dass die Prozesstemperaturen relativ hoch sind.

Ein Ausweg aus der Verwendung der hohen Prozesstemperaturen
35 bietet das Plasmaangeregte chemische Gasphasenabscheide-Verfahren (PECVD, "Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition"). Während bei herkömmlichen CVD-Prozessen die

Gasphasenreaktion durch thermische Energie infolge Heizens des Substrats ausgelöst wird, beruht das PECVD-Verfahren auf der Überführung eines Gases in den Plasma-Zustand in der Nähe der Substrat-Oberfläche. Eines der Reaktionsprodukte ist
5 dabei ein fester Stoff, der sich auf der Oberfläche niederschlägt, wodurch eine neue Schicht gebildet wird. Unter Verwendung des PECVD-Verfahrens lassen sich unter anderem Siliziumnitrid (SiN_x), Siliziumoxid (SiO_x) und Siliziumoxinitrid (SiO_yN_z) abscheiden. In einem PECVD-Reaktor
10 wird zwischen dem Substrat-Halter, der als Elektrode dient und einer weiteren Elektrode durch ein starkes elektrisches Wechselfeld ein Plasma gezündet. Durch die Energie des Feldes werden Bindungen der in den PECVD-Reaktor eingeleiteten Gasmoleküle aufgebrochen und die Gasmoleküle zersetzt. Die
15 entstehenden Radikale können mittels eines optionalen zweiten elektrischen Feldes in Richtung des Substrats bewegt werden, wo sich die hochreaktiven Radikale niederschlagen und die gewünschte Schicht bilden.

20 Aus dem Stand der Technik sind Verfahren bekannt, bei denen unter Verwendung des PECVD-Verfahrens dielektrische Schichten aus Siliziumoxid, Siliziumnitrid oder Siliziumoxinitrid erzeugt werden. Allerdings weisen derartige Schichten häufig keine ausreichend große relative Dielektrizitätskonstante
25 auf. Ferner weisen die aus dem Stand der Technik bekannten, mittels des PECVD-Verfahrens hergestellten dielektrischen Schichten häufig keine ausreichende mechanische bzw. elektrische Stabilität auf. MIM-Kapazitäten mit ausreichend hohen Kapazitäten sind gemäß dem aus dem Stand der Technik
30 bekannten Verfahren daher nur erzeugbar, wenn der Abstand zwischen den metallischen Schichten eines MIM-Kondensators ausreichend klein gewählt wird. In diesem Falle kann es allerdings leicht zu unerwünschten elektrischen Durchbrüchen zwischen den beiden metallischen Schichten kommen.

35 [1] offenbart eine Schicht-Anordnung zum Herstellen einer Isolationsstruktur.

[2] offenbart ein Verfahren zum Herstellen eines Siliziumnitrid-Films, der für UV-Strahlung durchlässig ist.

5 [3] offenbart eine mittels PECVD herstellbare Siliziumnitrid-Schicht als Passivierungsschicht.

[4] offenbart ein Verfahren zum Herstellen von Siliziumoxinitrid-Filmen.

10

[5] offenbart ein Verfahren zum Herstellen eines Siliziumnitrid-Films als Gate-Dielektrikum.

15 [6] offenbart das Herstellen elektronischer Vorrichtungen, die MIMs und TFTs aufweisen.

[7] offenbart das Herstellen von Siliziumoxinitrid als Deckschicht einer Mikrostruktur.

20 [8] offenbart ein Verfahren zum Herstellen einer Kombination von Hartmaske und Antireflexschicht.

[9] offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Auftragen von Filmen unter Verwendung reduzierter
25 Abscheideraten.

[10] offenbart ein Verfahren zum Ausbilden Silizium-basierter Dünnschichten.

30 Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine dielektrische Schicht bereitzustellen, die eine größere relative Dielektrizitätskonstante aufweist bei im Wesentlichen gleichbleibender mechanischer und elektrischer Stabilität.

35 Das Problem wird durch ein Plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumnitrid, durch ein Plasmaangeregtes chemisches

Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid, durch ein Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung, sowie durch eine Schicht-Anordnung mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

5

Bei dem erfindungsgemäßen Plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumnitrid auf einem Substrat werden Silan, Ammoniak und Stickstoff als Precursoren verwendet, das

10 Flussratenverhältnis von Silan zu Ammoniak wird zwischen 1:20 und 6:5 eingestellt und das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff wird zwischen 1:40 und 3:5 eingestellt.

Bei dem Plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-
15 Verfahren zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid auf einem Substrat werden Silan, Distickstoffmonoxid und Stickstoff als Precursoren verwendet. Das Flussratenverhältnis von Silan zu Distickstoffmonoxid wird zwischen 1:2 und 25:4 eingestellt und das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff
20 wird zwischen 1:100 und 1:10 eingestellt.

Bei den genannten Flussraten, angegeben in Standardkubikzentimetern pro Minute (sccm), handelt es sich um Massenflüsse.

25

Ferner ist erfindungsgemäß ein Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung geschaffen, bei dem eine erste elektrisch leitfähige Schicht auf einem Substrat ausgebildet wird, bei dem eine Siliziumnitrid-Schicht gemäß dem Plasmaangeregten
30 chemischen Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumnitrid oder eine Siliziumoxinitrid-Schicht gemäß dem Plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid mit den oben genannten Merkmalen auf der ersten elektrisch leitfähigen Schicht
35 ausgebildet wird. Ferner wird eine zweite elektrisch leitfähige Schicht auf der Siliziumnitrid-Schicht oder auf der Siliziumoxinitrid-Schicht ausgebildet.

Darüber hinaus ist erfindungsgemäß eine Schicht-Anordnung bereitgestellt, die gemäß dem Verfahren mit den oben genannten Merkmalen hergestellt ist.

5

Die erfindungsgemäß gewählten Flussraten-Verhältnisse der Precursoren des PECVD-Verfahrens zum Herstellen einer Siliziumnitrid-Schicht bzw. einer Siliziumoxinitrid-Schicht unterscheiden sich anschaulich vom Stand der Technik dadurch, dass im Falle des Abscheidens von Siliziumnitrid das Verhältnis der Flussraten von Silan (SiH_4) zu Ammoniak (NH_3) bzw. beim Abscheiden von Siliziumoxinitrid das Verhältnis der Flussraten von Silan zu Distickstoffmonoxid (N_2O) erhöht sind. Die erfindungsgemäß hergestellten Schichten aus Siliziumnitrid (SiN_x) bzw. Siliziumoxinitrid (SiO_yN_z) weisen dabei vorzugsweise nicht-stöchiometrische Silizium-Anteile auf. D.h., dass beispielsweise die erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid-Schichten einen höheren Silizium-Anteil aufweisen können als stöchiometrisches Siliziumnitrid (Si_3N_4), das 3/7 Atomanteile Silizium aufweist. Da Silizium eine hohe Dielektrizitätskonstante aufweist ($\epsilon=12$), ist dadurch die Dielektrizitätskonstante der erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schichten erhöht.

25

Indem erfindungsgemäß ein Verfahren bereitgestellt ist, gemäß dem das Abscheiden einer dielektrischen Schicht aus Siliziumnitrid bzw. aus Siliziumoxinitrid mit gegenüber dem Stand der Technik erhöhter Dielektrizitätskonstante ermöglicht ist, ist eine solche Schicht dazu geeignet, als dielektrische Schicht eines MIM-Kondensators verwendet zu werden. Bezugnehmend auf Gleichung (1) kann mit einer solchen Schicht bei einer kleineren Fläche der beiden metallischen Deckschichten des MIM-Kondensators ein Kondensator mit der gleichen Kapazität C hergestellt werden. Umgekehrt ist es möglich, bei Verwendung der erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schicht als

35

dielektrische Schicht eines MIM-Kondensators die Dicke der dielektrischen Schicht und damit den Abstand d zwischen den beiden metallischen Deckschichten bei gleicher Kapazität größer zu wählen, so dass eine höhere mechanische und elektrische Stabilität des MIM-Kondensators erreicht wird. Insbesondere sind bei einer höheren dielektrischen Schichtdicke in einem MIM-Kondensator Probleme mit elektrischen Leckströmen zwischen den metallischen Schichten vermieden und elektrische Durchbrüche bei hohen elektrischen Feldern ebenfalls vermieden.

Ferner zeigen Experimente an den erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schichten, dass diese Schichten mit einem hohen Silizium-Anteil verringerte Druckspannungen (d.h. mechanische Eigenspannungen) und eine verringerte Nassätzrate aufweisen. Eine ausreichend geringe Nassätzrate ist von Vorteil, da dies ein Entfernen bzw. Rückätzen einer solchen Schicht unter kontrollierten Prozessbedingungen ermöglicht.

Ferner beruht das erfindungsgemäße Verfahren auf dem halbleitertechnologischen Standardverfahren PECVD, wie es auf kommerziell erwerbbaaren PECVD-Reaktoren, beispielsweise dem "Novellus Concept One", durchgeführt werden kann. Daher ist das Herstellen der erfindungsgemäßen Silizium-reichen Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schichten mit einem mäßigen Aufwand möglich.

Bevorzugte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Bei dem oben charakterisierten Plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumnitrid wird vorzugsweise der Druck in der Verfahrenskammer zwischen ungefähr 260Pa und 530Pa eingestellt.

Das Erzeugen des Plasmas aus den in den Verfahrensraum eingeleiteten Precursoren Silan, Ammoniak und Stickstoff erfolgt vorzugsweise mittels eines Hochfrequenz-Feldes mit einer Leistung zwischen ungefähr 300W und 700W.

5

Optional kann ein Niederfrequenz-Feld mit einer Leistung zwischen ungefähr 300W und 700W an das Substrat angelegt werden, um Plasma in einem Umgebungsbereich des Substrats zu akkumulieren.

10

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung wird die Flussrate von Silan auf einen Wert zwischen 100 Standardkubikzentimeter pro Minute und 600 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt.

15

Vorzugsweise wird bei dem Verfahren das Flussratenverhältnis von Silan zu Ammoniak zwischen 1:10 und 3:5 eingestellt, das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff zwischen 1:20 und 3:20, der Druck in der Verfahrenskammer zwischen 360Pa und 430Pa und die Leistung des Hochfrequenz-Feldes sowie die Leistung des Niederfrequenz-Feldes voneinander unabhängig jeweils auf einen Wert zwischen ungefähr 400W und 600W.

20

25

Sehr gute Ergebnisse werden erreicht, wenn bei dem Verfahren das Flussratenverhältnis von Silan zu Ammoniak auf ungefähr 3:10 eingestellt wird, das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff auf ungefähr 3:16 eingestellt sein, der Druck in der Verfahrenskammer auf ungefähr 350Pa eingestellt wird und die Hochfrequenz-Leistung und die Niederfrequenz-Leistung auf jeweils ungefähr 500W eingestellt werden.

30

Die Flussrate von Silan kann gemäß dieser Weiterbildung auf ungefähr 300 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt werden.

35

Bezugnehmend auf das Plasmaangeregte chemische Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid auf einem Substrat wird der Druck in der Verfahrenskammer vorzugsweise zwischen 260Pa und 530Pa
5 eingestellt.

Darüber hinaus kann ein Hochfrequenz-Feld mit einer Leistung zwischen 200W und 500W zum Erzeugen des Plasmas angelegt werden.

10

Darüber hinaus kann ein Niederfrequenz-Feld mit einer Leistung von bis zu 300W zum Akkumulieren von Plasma in einem Umgebungsbereich des Substrats angelegt werden. Das Niederfrequenz-Feld ist jedoch nicht unbedingt erforderlich
15 und kann optional weggelassen werden.

Die Flussrate von Silan wird vorzugsweise auf einen Wert zwischen 100 und 500 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt.

20

Gemäß einer günstigen Konfiguration des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid auf einem Substrat wird das Flussratenverhältnis von Silan zu Distickstoffmonoxid zwischen 1:1 und 25:8 eingestellt, das
25 Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff zwischen 1:50 und 1:20 eingestellt, der Druck in der Verfahrenskammer zwischen 350Pa und 430Pa eingestellt und die Leistung des Hochfrequenz-Feldes auf einen Wert zwischen 300W und 400W sowie die Leistung des Niederfrequenz-Feldes auf einen Wert
30 von bis zu 150W eingestellt. Das Niederfrequenz-Feld kann jedoch auch weggelassen werden.

Besonders günstige Ergebnisse werden erhalten, wenn bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Abscheiden einer
35 Siliziumoxinitrid-Schicht das Flussratenverhältnis von Silan zu Distickstoffmonoxid auf ungefähr 13:12 eingestellt wird, das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff auf

ungefähr 13:800 eingestellt wird, der Druck in der Verfahrenskammer auf ungefähr 350Pa eingestellt wird und die Leistung des Hochfrequenz-Feldes auf ungefähr 300W eingestellt wird.

5

Vorzugsweise wird in diesem Fall die Flussrate von Silan auf ungefähr 130 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt.

Als Substrat wird vorzugsweise ein Halbleiter-Substrat verwendet, beispielsweise ein Silizium-Substrat wie ein Silizium-Wafer oder ein Silizium-Chip.

10

Hinsichtlich des oben beschriebenen Verfahrens zum Herstellen einer Schicht-Anordnung mit den oben beschriebenen Merkmalen wird für das erste und/oder für das zweite elektrisch leitfähige Material ein Metall verwendet.

15

Die verfahrensgemäß hergestellte Schicht-Anordnung wird vorzugsweise als MIM-Kondensator verwendet.

20

Bei dem Ausbilden einer elektrisch isolierenden Schicht, beispielsweise gemäß den erfindungsgemäßen Verfahren, kann die Gefahr bestehen, dass aufgrund von Schwankungen in der Prozessführung und/oder aufgrund anderer unerwünschter Effekte die elektrisch isolierende Eigenschaft einer ausgebildeten Schicht, beispielsweise einer Siliziumoxid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schicht, nicht in idealer Weise erreicht wird. Eine solche Schicht kann unerwünschterweise eine gewisse elektrische Rest-Leitfähigkeit haben. Um dies zu vermeiden, sind erfindungsgemäß die im Weiteren beschriebenen Verfahren bereitgestellt, mit denen die elektrisch isolierende Eigenschaft einer Schicht, beispielsweise einer erfindungsgemäß hergestellten Siliziumoxid- oder Siliziumoxinitrid-Schicht, verbessert werden können.

25

30

35

Gemäß einem ersten Verfahren zum Verbessern der elektrisch isolierenden Eigenschaft einer abzuscheidenden, elektrisch

isolierenden Schicht, beispielsweise einer Siliziumoxinitrid- bzw. Siliziumoxid-Schicht, wird das Abscheideverfahren mindestens einmal unterbrochen und nach einer vorgebaren Wartezeit fortgesetzt, so dass die elektrisch isolierende Schicht aus $n+1$ Teilschichten ausgebildet wird, wobei n die Anzahl der Unterbrechungen ist. Bezogen auf das oben beschriebene erfindungsgemäße plasmaangeregte chemische Gasphasen-Abscheideverfahren zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid- bzw. Siliziumoxid auf einem Substrat wird der plasmagestützte Abscheideprozess einmal oder mehrfach unterbrochen und jeweils nach einer Wartezeit fortgesetzt. Infolge des kurzzeitigen Abschaltens des Plasmas bzw. des Unterbrechens des Abscheide-Prozesses kann somit das sukzessive Ausbilden der Schicht unterbrochen werden. Daher entsteht anschaulich ein Schichtstapel aus mehreren Teilschichten (welche allerdings im Wesentlichen aus demselben Material hergestellt sind), wobei an den Grenzflächen zweier benachbarter Teilschichten infolge der Unterbrechung des Prozesses vorteilhafterweise häufig Defekte, d.h. Festkörperfehlordnungen (z.B. Versetzungen), auftreten können. Anschaulich unterbrechen diese Festkörperfehler mögliche in der Schicht enthaltene durchgehende elektrisch leitfähige Bereiche und unterbinden daher parasitäre Strompfade. Eine auf diese Weise erhaltene heterogene elektrisch isolierende Schicht weist gegenüber einer ohne Unterbrechen des Abscheideverfahrens abgeschiedenen Schicht eine verbesserte Isolationswirkung auf. Elektrische Durchbrüche und Leckströme sind somit vermieden.

Zusammenfassend ist ein Verfahren zum Abscheiden einer annähernd elektrisch isolierenden Schicht mit verringerter Rest-Leitfähigkeit, vorzugsweise einer Siliziumoxid- oder Siliziumoxinitrid-Schicht, geschaffen, wobei gemäß dem Verfahren

- die Schicht in mindestens zwei Teilschritten unter Verwendung eines vorgegebenen Abscheideverfahrens,

vorzugsweise eines plasmagestützten Abscheideverfahrens, abgeschieden wird

- zwischen jeweils zwei Teilschritten das Abscheiden für eine jeweils vorgebbare Zeitdauer unterbrochen wird.

5

Gemäß einem zweiten Verfahren, das ergänzend oder alternativ zu dem zuvor beschriebenen Verfahren angewendet werden kann, wird die elektrische Isolations-Eigenschaft einer erfindungsgemäß herzustellenden annähernd elektrisch

10 isolierenden Schicht, beispielsweise einer Siliziumoxid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schicht, dadurch verbessert, dass

möglicherweise in einer abgeschiedenen Schicht enthaltende elektrisch leitfähige Bereiche, beispielsweise ungesättigte Silizium-Bindungen in einer Siliziumoxid-Schicht, in einem

15 sauerstoffhaltigen Plasma oxidiert und somit abgesättigt werden. Mit anderen Worten kann beispielsweise nach einer Teilabscheidung oder einer Gesamtabcheidung einer

Siliziumoxid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schicht eine Oberflächenbehandlung in einem sauerstoffhaltigen Plasma

20 (beispielsweise einem Sauerstoff-Plasma und/oder einem Distickstoffmonoxid-Plasma) durchgeführt werden. An der Oberfläche einer Gesamtschicht bzw. Teilschicht befindliche zuvor nicht abgesättigte Silizium-Bindungen werden dadurch

25 oxidiert, wodurch die Rest-Leitfähigkeit der ausgebildeten Schicht verringert wird und gegebenenfalls leitfähige Pfade für Leckströme eliminiert oder zumindest unterbrochen werden.

Zusammenfassend ist ein Verfahren zum Abscheiden einer annähernd elektrisch isolierenden Schicht mit verringerter

30 Rest-Leitfähigkeit, vorzugsweise einer Siliziumoxid- oder Siliziumoxinitrid-Schicht, geschaffen, wobei gemäß dem Verfahren

- die Schicht unter Verwendung eines vorgegebenen Abscheideverfahrens, vorzugsweise eines plasmagestützten

35 Abscheideverfahrens, abgeschieden wird

- die Schicht einem sauerstoffhaltigen Plasma derart ausgesetzt wird, dass elektrisch leitfähige Bereiche der

Schicht infolge einer Wechselwirkung mit dem sauerstoffhaltigen Plasma in elektrisch isolierende Bereiche umgewandelt werden.

- 5 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im Weiteren näher erläutert.

Es zeigen:

- 10 Figur 1 einen PECVD-Reaktor, mittels dem das Verfahren zum Abscheiden einer Siliziumnitrid-Schicht bzw. einer Siliziumoxinitrid-Schicht gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung durchgeführt werden kann,

- 15 Figur 2 ein unter Verwendung einer Infrarotspektroskopie-Methode (FTIR) ermitteltes Diagramm, das schematisch die Abhängigkeit der Infrarotabsorption I von der Wellenzahl k der Infrarotstrahlung für erfindungsgemäß hergestellte Siliziumnitrid-Schichten für unterschiedliche Ammoniak-
20 Flussraten zeigt,

- Figur 3 ein unter Verwendung einer Infrarotspektroskopie-Methode (FTIR) ermitteltes Diagramm, das schematisch die Abhängigkeit der Infrarotabsorption I von der Wellenzahl k
25 der Infrarotstrahlung für erfindungsgemäß hergestellte Siliziumoxinitrid-Schichten für unterschiedliche Distickstoffmonoxid-Flussraten zeigt,

- Figur 4 ein Diagramm, das Ergebnisse aus Rutherford-
30 Rückstreu-Experimenten (RBS) zeigt, und in dem die Abhängigkeit der Konzentration von Silizium, Sauerstoff und Stickstoff erfindungsgemäß hergestellter Siliziumoxinitrid-Schichten in Abhängigkeit der Flussrate von Distickstoffmonoxid gezeigt sind,

- 35 Figur 5A ein Diagramm, das schematisch die Abhängigkeit der relativen Dielektrizitätskonstante ϵ vom Brechungsindex n für

eine erfindungsgemäß hergestellte Siliziumnitrid-Schicht bzw. für eine erfindungsgemäß hergestellte Siliziumoxinitrid-Schicht zeigt,

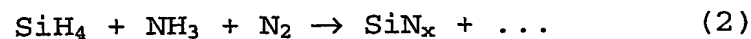
- 5 Figur 5B ein Diagramm, das schematisch die Abhängigkeit unterschiedlicher physikalischer Parameter einer erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid-Schicht von der Ammoniak-Flussrate zeigt,
- 10 Figur 5C ein Diagramm, das schematisch die Abhängigkeit unterschiedlicher physikalischer Parameter einer erfindungsgemäß hergestellten Siliziumoxinitrid-Schicht von der Distickstoffmonoxid-Flussrate zeigt.
- 15 Im Weiteren wird anhand des in **Fig.1** gezeigten PECVD-Reaktors 100 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-Verfahrens zum Abscheiden von Siliziumnitrid auf einem Substrat beschrieben.
- 20 Der in Fig.1 gezeigte PECVD-Reaktor 100 weist eine Verfahrenskammer 101 auf. In der Verfahrenskammer 101 ist auf einer Halte-Vorrichtung 102 ein Silizium-Wafer 103 montiert. Ferner ist in der Verfahrenskammer 101 eine in mehrere
- 25 Abschnitte aufgeteilte Elektrode 104 angeordnet, welche drei Öffnungen 105a, 105b, 105c aufweist. Durch die erste Öffnung 105a kann, sofern ein erstes Ventil 106a geöffnet ist, Silan-Gas (SiH_4) aus dem ersten Reservoir 107a in die
- 30 Verfahrenskammer 101 eingeleitet werden. Ferner kann in die Verfahrenskammer 101 durch die zweite Öffnung 105b, falls ein zweites Ventil 106b geöffnet ist, Ammoniakgas (NH_3) in die
- 35 Verfahrenskammer eingeleitet werden. Darüber hinaus kann durch eine dritte Öffnung 105c, falls ein drittes Ventil 106c geöffnet ist, Stickstoffgas (N_2) aus dem dritten Reservoir 107c in die Verfahrenskammer 101 eingeleitet werden. Die
- Elektrode 104 ist mit einer HF-Spannungsquelle 108 zum Erzeugen eines hochfrequenten elektrischen Feldes in der Verfahrenskammer gekoppelt. Ferner ist gemäß dem gezeigten

Ausführungsbeispiel die Halte-Vorrichtung 102 mit einer LF-Spannungsquelle 109 zum Erzeugen eines niederfrequenten Spannungssignals und zum Anlegen desselben an die Halte-Vorrichtung 102 und an den Wafer 103 gekoppelt. Ferner weist
5 der PECVD-Reaktor 100 einen Gas-Auslass 110 auf, aus dem Gas, sofern das vierte Ventil 111 geöffnet ist, aus der Verfahrenskammer 101 entfernt werden können. Des Weiteren ist in Fig.1 eine Pumpe 112 gezeigt, mit der nicht benötigte Reaktionsprodukte durch den Gas-Auslass 110 aus der
10 Verfahrenskammer 101 herausgepumpt werden und mit der in der Verfahrenskammer 101 ein gewünschter Druck eingestellt wird.

Beim Betrieb des PECVD-Reaktors 100 wird mittels der HF-Spannungsquelle 108 eine solche Hochfrequenz-Spannung an die
15 Elektrode 104 angelegt, dass mittels der Elektrode 104 in der Verfahrenskammer 101 ein starkes elektrisches Wechselfeld entsteht. Aus dem ersten Reservoir 107a wird Silan mit einer geeigneten Flussrate, die beispielsweise mittels Justierens des ersten Ventils 106a eingestellt werden kann, in die
20 Verfahrenskammer 101 eingelassen. Ferner wird aus dem zweiten Reservoir 107 Ammoniak-Gas einer geeigneten Flussrate in die Verfahrenskammer 101 eingeleitet, wobei die Flussrate beispielsweise mittels des zweiten Ventils 106b einstellbar ist. Aus dem dritten Reservoir 107c wird Stickstoff-Gas einer
25 geeigneten Flussrate, welche mittels Justierens des dritten Ventils 106c eingestellt wird, in die Verfahrenskammer 101 eingelassen. Die eingelassenen Gasmoleküle werden mittels des hochfrequenten elektrischen Feldes in den Plasma-Zustand gebracht. Mit anderen Worten werden die Gasmoleküle in
30 Radikale umgewandelt, beispielsweise werden aus Silan chemisch hochreaktive Silizium-Radikale erzeugt. Dadurch bildet sich ein Plasma 113. Simultan zu dem hochfrequenten elektrischen Feld, das mittels der HF-Spannungsquelle 108 erzeugt wird, wird mittels der LF-Spannungsquelle 109 eine
35 niederfrequente elektrische Spannung über die Halte-Vorrichtung 102 an den Wafer 103 angelegt. Diese niederfrequente Spannung sorgt dafür, dass der Wafer 103

gegenüber dem positiv geladenem Plasma 113 negativ
vorgespannt wird. Infolge elektrischer Kräfte diffundieren
die Radikale des Plasmas 113 zu der Oberfläche des Silizium-
Wafers 103 und werden dort adsorbiert. Auf der heißen
5 Oberfläche des Silizium-Wafers 104 reagieren die Radikale
chemisch und bilden so eine Siliziumnitrid-Schicht 114 auf der
Oberfläche des Wafers 103. Die Reaktionsgleichung dieser
chemischen Reaktion auf der Oberfläche des Silizium-Wafers
103 weist die folgende Form auf:

10

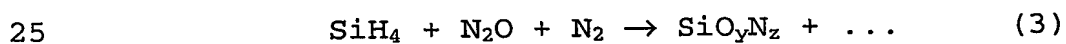


Gemäß diesem Ausführungsbeispiel werden Silan, Ammoniak und
Stickstoff als Precursoren verwendet. Als Durchflussrate von
15 Silan werden gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel 300
Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt, als
Durchflussrate von Ammoniak werden 1000
Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt, als
Durchflussrate von Stickstoff werden 1600
20 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt, der Druck in
der Verfahrenskammer wird auf ungefähr 350Pa eingestellt und
die Hochfrequenz-Leistung der HF-Spannungsquelle 108
(HF="high frequency") sowie die Niederfrequenz-Leistung der
LF-Spannungsquelle 109 (LF="low frequency") wird jeweils auf
25 500W eingestellt. Der Druck kann mittels Justierens des
Ventils 111 und der Arbeitsparameter der Pumpe 112
eingestellt werden. Gemäß dem beschriebenen
Ausführungsbeispiel wird also das Flussratenverhältnis von
Silan zu Ammoniak auf ungefähr 3:10 eingestellt, wohingegen
30 das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff auf
ungefähr 3:16 eingestellt wird. Es ist zu betonen, dass die
LF-Spannungsquelle 109 optional ist und lediglich die
Funktion erfüllt, das positiv geladene Plasma in einem
Umgebungsbereich der Oberfläche des Silizium-Wafers 103 zu
35 akkumulieren, wodurch das Stattfinden einer chemischen
Reaktion auf der Oberfläche des Silizium-Wafers 103
begünstigt wird. Die LF-Spannungsquelle 109 kann jedoch auch

weggelassen werden. Gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel wird als Frequenz der HF-Spannungsquelle 13,56MHz gewählt, wohingegen als Frequenz für die LF-Spannungsquelle gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel 100kHz gewählt wird. Als PECVD-Reaktor 100 ist gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel das "Novellus Concept One" System der Firma Novellus™ gewählt.

Es ist zu betonen, dass anstatt des in Fig.1 gezeigten PECVD-Reaktors jeder andere geeignete PECVD-Reaktor verwendet werden kann, um das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

Der PECVD-Reaktor 100 kann auch dafür verwendet werden, das erfindungsgemäße Plasmaangeregte chemische Gasphasenabscheide-Verfahren zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid auf einem Substrat durchzuführen. Dazu wird vor der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in das erste Reservoir 107a Silan-Gas, in das zweite Reservoir 107b Distickstoffmonoxid (N₂O) und in das dritte Reservoir 107c Stickstoff (N₂) eingefüllt. Das Erzeugen einer Siliziumoxinitrid-Schicht auf der Oberfläche des Silizium-Wafers 103 erfolgt in diesem Fall gemäß der Reaktionsgleichung:



Gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel wird die Durchflussrate von Silan auf 130sccm eingestellt, die Durchflussrate von Distickstoffmonoxid wird auf 120sccm eingestellt, die Durchflussrate von Stickstoff wird auf 8000sccm eingestellt, der Druck in der Verfahrenskammer 101 wird auf ungefähr 350Pa eingestellt, die Hochfrequenz-Leistung der HF-Spannungsquelle 108 wird auf ungefähr 300W eingestellt und die LF-Spannungsquelle 109 wird ausgeschaltet, d.h. nicht verwendet.

Eine Grundidee der Erfindung kann anschaulich darin gesehen werden, dass eine Siliziumnitrid-Schicht bzw. eine Siliziumoxinitrid-Schicht bereitgestellt wird, in welcher der Anteil von Silizium mittels Verwendens des PECVD-Verfahrens und mittels einer geschickten Prozessführung erhöht wird, wodurch infolge der hohen relativen Dielektrizitätskonstante von Silizium die relative Dielektrizitätskonstante der entstehenden Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schicht erhöht ist. Mittels Variation der Prozessgase (Silan, Stickstoff sowie Ammoniak oder Distickstoffmonoxid) ist ein stöchiometrisch exaktes Justieren des Silizium-Anteils der entstehenden Siliziumnitrid- oder Siliziumoxinitrid-Schichten ermöglicht.

Eine Grundidee der Erfindung kann auch darin gesehen werden, dass bei der Herstellung einer Siliziumnitrid-Schicht unter Verwendung des PECVD-Verfahrens erfindungsgemäß die Flussrate von Ammoniak reduziert wird bzw. dass zum Herstellen einer Siliziumoxinitrid-Schicht die Flussrate von Distickstoffmonoxid reduziert wird, sodass eine gewünschte, vorgebbare Stöchiometrie mit einem erhöhten hohen Anteil Silizium in den resultierenden Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schichten erhalten wird.

Im Weiteren werden experimentelle Untersuchungen der erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schichten erläutert und so die vorteilhaften Eigenschaften des erfindungsgemäßen Verfahrens aufgezeigt. Ferner werden die physikalisch-chemischen Zusammenhänge zwischen Wahl der Prozessparameter des PECVD-Verfahrens und der entstehenden Schichten erläutert.

In **Fig.2** ist ein Diagramm 200 gezeigt, das ein FTIR-Spektrum ("Fourier transform infrared spectroscopy") erfindungsgemäß hergestellter Siliziumnitrid-Schichten zeigt.

Entlang der Abszisse 201 ist die Wellenzahl k (in cm^{-1}) der auf die erfindungsgemäß hergestellte Siliziumnitrid-Schicht eingestrahlten Infrarotstrahlung gezeigt. Entlang der Ordinate 202 des Diagramms 200 ist die Intensität der absorbierten Infrarotstrahlung (in beliebigen Einheiten) aufgetragen. Jedem Peak in einem FTIR-Spektrum ist ein charakteristisches Material bzw. eine charakteristische chemische Bindung zugeordnet. In dem Diagramm 200 weisen die drei gezeigten Kurven 203, 204, 205 Peaks auf, die charakteristisch für N-H Bindungen, Si-H Bindungen bzw. Si-N Bindungen sind. Daher ist die Intensität der entsprechenden Peaks ein Maß für den stöchiometrischen Anteil des entsprechenden Elements bzw. der entsprechenden chemischen Bindung in der untersuchten Siliziumnitrid-Schicht.

Eine erste Kurve 203 zeigt ein FTIR-Spektrum, wie es bei Durchführung des erfindungsgemäßen Plasmaangeregten chemischen Gasphasenabschaltverfahrens zum Abscheiden von Siliziumnitrid unter Verwendung einer Ammoniak-Durchflussrate von 1500 Standardkubikzentimetern pro Minute erhalten wird. Eine zweite Kurve 204 korrespondiert mit einer Ammoniak-Flussrate von 2000 Standardkubikzentimetern pro Minute und eine dritte Kurve 205 zeigt das FTIR-Spektrum bei einer Ammoniak-Flussrate von 4000 Standardkubikzentimetern pro Minute. An dem in dem Diagramm 200 mit der Beschriftung „Si-H“ gekennzeichneten Peak ist zu erkennen, dass der Anteil von Silizium-Wasserstoff-Bindungen in der erhaltenen Siliziumnitrid-Schicht umso höher ist, je geringer die Ammoniak-Flussrate gewählt ist. Mit anderen Worten führt eine Verringerung der Ammoniak-Flussrate zu einer Erhöhung des Silizium-Anteils in der resultierenden Siliziumnitrid-Schicht. Daher kann mittels Reduzierens der Ammoniak-Flussrate bei Durchführung des PECVD-Verfahrens der Silizium-Anteil in der resultierenden Siliziumnitrid-Schicht erhöht werden und dadurch die relative Dielektrizitätskonstante der entstehenden Schicht erhöht werden.

In **Fig.3** ist ein Diagramm 300 gezeigt, in dem das FTIR-Spektrum erfindungsgemäß hergestellter Siliziumoxinitrid-Schichten gezeigt ist. Wiederum ist entlang der Abszisse 301 die Wellenzahl k (in cm^{-1}) der eingestrahnten

- 5 Infrarotstrahlung gezeigt. Entlang der Ordinate 302 ist die Infrarotabsorption I (in beliebigen Einheiten) aufgetragen. Das Diagramm 300 zeigt eine erste Kurve 303 und eine zweite Kurve 304. Die erste Kurve 303 zeigt das erhaltene FTIR-Spektrum einer erfindungsgemäß hergestellten
- 10 Siliziumoxinitrid-Schicht für den Fall, dass der Distickstoffmonoxid-Durchfluss auf 160 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt wird. Dagegen ist im Falle der zweiten Kurve 304 die Flussrate von Distickstoffmonoxid auf 200 Standardkubikzentimeter pro
- 15 Minute eingestellt. Wie anhand der beiden teilweise überlappenden Resonanzen von Si-O bzw. Si-N in der Region von ungefähr 1000cm^{-1} zu erkennen ist, führt eine Verringerung der Distickstoffmonoxid-Flussrate zu einer relativen Verschiebung der Gewichtung Si-O/Si-N hin zu der Si-N
- 20 Komponente. Mit anderen Worten nimmt der Anteil von stickstoffligandiertem Silizium zu, wenn die Distickstoffmonoxid-Flussrate reduziert wird. Stöchiometrisches Siliziumoxid tritt in der Konfiguration SiO_2 auf, sodass das Siliziumdioxid zu einem Drittel Silizium
- 25 aufweist. Dagegen ist die stöchiometrische Zusammensetzung von Siliziumnitrid üblicherweise Si_3N_4 , sodass die Siliziumnitrid-Komponente $3/7$ Silizium aufweist. Eine Zunahme der stickstoffligandierten Silizium-Komponente im FTIR-Spektrum bei einer gleichzeitigen Abnahme der
- 30 sauerstoffligandierten Silizium-Komponente führt daher zu einer Erhöhung des Silizium-Anteils in der Siliziumoxinitrid-Schicht, sodass Silizium-reichere Schichten erhalten werden, wenn die Flussrate von Distickstoffmonoxid reduziert wird. Daher kann mittels Reduzierens der Flussrate von
- 35 Distickstoffmonoxid (d.h. mittels erfindungsgemäßer Wahl der Flussratenverhältnisse) die relative Dielektrizitätskonstante ϵ der resultierenden Siliziumoxinitrid-Schicht erhöht werden.

In **Fig.4** ist ein Diagramm 400 gezeigt, das auf RBS-Untersuchungen („Rayleigh Backscattering Spectroscopy“) erfindungsgemäß hergestellter Siliziumoxinitrid-Schichten beruht. Bei der RBS Methode wird die Zusammensetzung einer Schicht ermittelt, indem energiereiche Ionen an einem Festkörper aufgrund des elektrostatischen Potentials der Atomkerne gestreut werden. Aus dem Streuspektrum kann die quantitative Zusammensetzung einer untersuchten Schicht ermittelt werden.

Bei dem in Fig.4 gezeigten Diagramm 400 sind entlang der Abszisse 401 unterschiedliche Distickstoffmonoxid-Flussraten in sccm (Standardkubikzentimeter pro Minute) beim Herstellen erfindungsgemäßer Siliziumoxinitrid-Schichten aufgetragen. Entlang der Ordinate 402 sind die aus dem RBS-Spektrum ermittelten Anteile der Elemente Silizium (Si), Sauerstoff (O) bzw. Stickstoff (N) aufgetragen. Es wurden unterschiedliche Distickstoffmonoxid-Flussraten, aber eine konstante Silan-Flussrate verwendet, um die zugehörigen Siliziumoxinitrid-Schichten herzustellen. Eine erste Kurve 403 zeigt die Abhängigkeit des Silizium-Beitrags in der Siliziumoxinitrid-Schicht für die unterschiedlichen Distickstoffmonoxid-Flussraten. Eine zweite Kurve 404 zeigt die Abhängigkeit des Sauerstoff-Beitrags in den hergestellten Siliziumoxinitrid-Schichten. Eine dritte Kurve 405 zeigt den Beitrag der Stickstoff-Komponente in den Siliziumoxinitrid-Schichten. Wie aus Fig.4 hervorgeht, besteht eine Korrelation zwischen dem Silizium-Beitrag in einer derartig hergestellten Siliziumoxinitrid-Schicht und der für das PECVD-Verfahren verwendeten Distickstoffmonoxid-Flussrate. Je geringer die Distickstoffmonoxid-Flussrate gewählt ist, desto höher ist der relative Anteil des Siliziums. Daher kann die relative Dielektrizitätskonstante der resultierenden Siliziumoxinitrid-Schicht dadurch erhöht werden, dass die Distickstoffmonoxid-Flussrate verringert wird.

In **Fig.5A** ist ein Diagramm 500 gezeigt, das die Abhängigkeit der relativen Dielektrizitätskonstante ϵ (dimensionslos) einer erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schicht von dem Brechungsindex n

5 (dimensionslos) der Schicht für Licht einer Wellenlänge von 635nm zeigt. Entlang der Abszisse 501 ist der Brechungsindex n aufgetragen. Entlang der Ordinate 502 sind Werte der relativen Dielektrizitätskonstante ϵ der Siliziumnitrid- bzw. Siliziumoxinitrid-Schichten aufgetragen.

10

Wie aus Fig.5A hervorgeht, sind die Abhängigkeiten für Siliziumnitrid (erste Kurve 503) bzw. für Siliziumoxinitrid (zweite Kurve 504) jeweils monoton steigend. Mit anderen Worten führt eine Erhöhung des Brechungsindex n zu einer

15 Erhöhung der relativen Dielektrizitätskonstante ϵ .

20

Bezugnehmend auf das in **Fig.5B** gezeigte Diagramm 510 wird im Weiteren die Abhängigkeit einer Reihe physikalischer Parameter einer hergestellten Siliziumnitrid-Schicht von der Ammoniak-Flussrate dV/dt (in sccm) während des erfindungsgemäßen PECVD-Verfahrens erläutert. Entlang der Abszisse 511 sind unterschiedliche Flussraten von Ammoniak in Standardkubikzentimetern pro Minute aufgetragen. Entlang einer ersten Ordinate 512 ist der Brechungsindex n

25 (dimensionslos), die Nassätzrate ds/dt (in nm pro Minute) und die Druckspannung σ der Siliziumnitrid-Schicht (in 10^8 Pa) aufgetragen. Entlang einer zweiten Ordinate 513 des Diagramms 510 ist die Abscheiderate dx/dt (in nm pro Minute) aufgetragen.

30

Eine erste Kurve 514 zeigt die Abhängigkeit des Brechungsindex n der erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid-Schicht von der eingestellten Ammoniak-Flussrate. Wie in Fig.5B gezeigt, besteht eine eindeutige

35 Korrelation zwischen einer Verringerung der Ammoniak-Flussrate dV/dt und einer Erhöhung des Brechungsindex n . Bezugnehmend auf Fig.5A korrespondiert ein erhöhter

Brechungsindex einer Siliziumnitrid-Schicht (vgl. erste Kurve 503) mit einer Erhöhung der relativen

Dielektrizitätskonstante der Schicht. Fasst man die Aussagen des Diagramms 510 und des Diagramms 500 zusammen, so führt
5 eine Verringerung der Ammoniak-Flussrate zu einer Erhöhung der relativen Dielektrizitätskonstante. Dies ist ein wesentlicher Effekt, welcher der Erfindung zugrunde liegt.

10 Ferner ist in Fig.5B eine zweite Kurve 515 gezeigt, welche die Abhängigkeit der Nassätzrate ds/dt (in nm pro Minute) von der Ammoniak-Flussrate dV/dt zeigt. Eine verringerte Ammoniak-Flussrate führt daher nicht nur zu einer Erhöhung der relativen Dielektrizitätskonstante, sondern auch zu einer deutlichen Verringerung der Nassätzrate. Eine ausreichend
15 geringe Nassätzrate gewährleistet, dass ein definiertes Zurückätzen einer erfindungsgemäß hergestellten Schicht ermöglicht ist. Da bei erhöhter Dielektrizitätskonstante die Nassätzrate der erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid-Schicht verringert ist, ist das Weiterprozessieren einer
20 solchen Schicht unter definierten Bedingungen ermöglicht.

Darüber hinaus ist in dem Diagramm 510 eine dritte Kurve 516 gezeigt, welche die Abhängigkeit der Druckspannung σ (in 10^8 Pa) von der Ammoniak-Flussrate zeigt. Eine Erhöhung der
25 relativen Dielektrizitätskonstante infolge der Verringerung der Ammoniak-Flussrate geht daher mit einer Verringerung der Druckspannung und folglich einer verringerten Eigenspannung der Siliziumnitrid-Schicht einher, was vorteilhaft ist.

30 Ferner ist in dem Diagramm 510 eine vierte Kurve 517 gezeigt, welche die Abhängigkeit der Siliziumnitrid-Abscheiderate von der Ammoniak-Flussrate zeigt. Je geringer die Ammoniak-Flussrate gewählt wird, desto höher ist die Abscheiderate.

35 Im Weiteren wird bezugnehmend auf **Fig.5C** das dort gezeigte Diagramm 520 erläutert, das für erfindungsgemäß hergestellte Siliziumoxinitrid-Schichten die Abhängigkeit

unterschiedlicher physikalischer Parameter von der Distickstoffmonoxid-Flussrate (in sccm) zeigt.

Entlang der Abszisse 511 ist die Flussrate von
5 Distickstoffmonoxid bei dem erfindungsgemäßen PECVD-Verfahren
aufgetragen. Ferner ist entlang einer ersten Ordinate 522 der
Brechungsindex n aufgetragen (dimensionslos), und es ist die
Nassätzrate ds/dt (in nm pro Minute) aufgetragen. Entlang
10 einer zweiten Ordinate 523 ist die Abscheiderate von
Siliziumoxinitrid, wie sie gemäß dem erfindungsgemäßen
Verfahren erhalten wird, aufgetragen.

Eine erste Kurve 524 in dem Diagramm 520 zeigt die
Abhängigkeit des Brechungsindex n von der
15 Distickstoffmonoxid-Flussrate. Aus der ersten Kurve 524 aus
Fig.5C und aus der zweiten Kurve 504 aus Fig.5A ist die
Korrelation ersichtlich, dass eine Verringerung der
Distickstoffmonoxid-Flussrate zu einer Erhöhung der relativen
Dielektrizitätskonstante ϵ führt.

20 Eine Kurve 525 aus Fig.5C zeigt die Abhängigkeit der
Nassätzrate ds/dt von der Flussrate von Distickstoffmonoxid
während des PECVD-Verfahrens. Auch im Falle von
Siliziumoxinitrid führt eine Verringerung der Flussrate (in
25 diesem Falle von Distickstoffmonoxid) zu einer Verringerung
der Nassätzrate, sodass mit einer Verringerung der
Distickstoffmonoxid-Flussrate eine Weiterprozessierung der
erfindungsgemäß hergestellten Siliziumoxinitrid-Schicht unter
definierten Verfahrensbedingungen ermöglicht ist.

30 Ferner ist in dem Diagramm 520 eine dritte Kurve 526 gezeigt,
welche die Abhängigkeit der Siliziumoxinitrid-Abscheiderate
von der Distickstoffmonoxid-Flussrate zeigt. Anders als im
Falle der Siliziumnitrid-Schicht (vgl. Kurve 517 aus Diagramm
35 510) führt im Falle von Siliziumoxinitrid eine Verringerung
der Flussrate (in diesem Fall von Distickstoffmonoxid) zu
einer Verringerung der Abscheiderate 526.

Die beschriebenen physikalischen Parameter der
erfindungsgemäß hergestellten Siliziumnitrid- bzw.
Siliziumoxinitrid-Schichten sowie die Abhängigkeit der
5 physikalischen Parameter dieser Schichten von den
Prozessbedingungen zeigt, dass mittels einer Verringerung der
Flussraten von Ammoniak bzw. von Distickstoffmonoxid während
eines PECVD-Verfahrens Schichten mit einem erhöhten ϵ und
vorteilhaften Materialeigenschaften erhalten werden.

10

Insbesondere weisen solche Schichten die erforderlichen
elektrischen, mechanischen und optischen Eigenschaften auf,
um als dielektrische Schichten eines MIM-Kondensators
geeignet zu sein.

15

In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] US 6,383,874 B1

5 [2] US 4,618,541

[3] US 6,316,820 B1

[4] US 6,372,668 B2

10

[5] US 6,309,932 B1

[6] US 5,466,617

15 [7] US 5,164,339

[8] US 6,383,874 B1

[9] US 6,324,439 B1

20

[10] EP 0,454,100 A2

Bezugszeichenliste

- 100 PECVD-Reaktor
- 101 Verfahrenskammer
- 102 Halte-Vorrichtung
- 103 Silizium-Wafer
- 104 Elektrode
- 105a erste Öffnung
- 105b zweite Öffnung
- 105c dritte Öffnung
- 106a erstes Ventil
- 106b zweites Ventil
- 106c drittes Ventil
- 107a erstes Reservoir
- 107b zweites Reservoir
- 107c drittes Reservoir
- 108 HF-Spannungsquelle
- 109 LF-Spannungsquelle
- 110 Gas-Auslass
- 111 viertes Ventil
- 112 Pumpe
- 113 Plasma
- 114 Siliziumnitrid-Schicht
- 200 Diagramm
- 201 Abszisse
- 202 Ordinate
- 203 erste Kurve
- 204 zweite Kurve
- 205 dritte Kurve
- 300 Diagramm
- 301 Abszisse
- 302 Ordinate
- 303 erste Kurve
- 304 zweite Kurve
- 400 Diagramm

401 Abszisse
402 Ordinate
403 erste Kurve
404 zweite Kurve
405 dritte Kurve
500 Diagramm
501 Abszisse
502 Ordinate
503 erste Kurve
504 zweite Kurve
510 Diagramm
511 Abszisse
512 erste Ordinate
513 zweite Ordinate
514 erste Kurve
515 zweite Kurve
516 dritte Kurve
517 vierte Kurve
520 Diagramm
521 Abszisse
522 erste Ordinate
523 zweite Ordinate
524 erste Kurve
525 zweite Kurve
526 dritte Kurve

Patentansprüche:

1. Plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabscheide-Verfahren
zum Abscheiden von Siliziumnitrid als dielektrische Schicht
5 eines MIM-Kondensators auf einem Substrat, bei dem
 - Silan, Ammoniak und Stickstoff als Precursoren verwendet werden;
 - das Flussratenverhältnis von Silan zu Ammoniak zwischen 1:20 und 6:5 eingestellt wird;
 - 10 • das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff zwischen 1:40 und 3:5 eingestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem der Druck in der Verfahrenskammer zwischen 260Pa und
15 530Pa eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
bei dem ein Hochfrequenz-Feld mit einer Leistung zwischen 300W und 700W zum Erzeugen des Plasmas angelegt wird.
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
bei dem ein Niederfrequenz-Feld mit einer Leistung zwischen 300W und 700W zum Akkumulieren von Plasma in einem Umgebungsbereich des Substrats angelegt wird.
25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem die Flussrate von Silan auf einen Wert zwischen 100 und 600 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt wird.
- 30 6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,
bei dem
 - das Flussratenverhältnis von Silan zu Ammoniak zwischen 1:10 und 3:5 eingestellt wird; und
 - das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff
35 zwischen 1:20 und 3:10 eingestellt wird;
 - der Druck in der Verfahrenskammer zwischen 360Pa und 430Pa eingestellt wird;

- die Leistung des Hochfrequenz-Feldes und die Leistung des Niederfrequenz-Feldes voneinander unabhängig jeweils auf einen Wert zwischen 400W und 600W eingestellt werden.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6,
bei dem

- das Flussratenverhältnis von Silan zu Ammoniak auf ungefähr 3:10 eingestellt wird;
- 10 • das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff auf ungefähr 3:16 eingestellt wird;
- der Druck in der Verfahrenskammer auf ungefähr 350Pa eingestellt wird;
- die Hochfrequenz-Leistung und die Niederfrequenz-
- 15 Leistung jeweils auf ungefähr 500W eingestellt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
bei dem die Flussrate von Silan auf ungefähr 300
Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt wird.

20

9. Plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabscheide-Verfahren
zum Abscheiden von Siliziumoxinitrid als dielektrische
Schicht eines MIM-Kondensators auf einem Substrat, bei dem

- Silan, Distickstoffmonoxid und Stickstoff als
- 25 Precursoren verwendet werden;
- das Flussratenverhältnis von Silan zu
Distickstoffmonoxid zwischen 1:2 und 25:4 eingestellt
wird;
- das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff
- 30 zwischen 1:100 und 1:10 eingestellt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
bei dem der Druck in der Verfahrenskammer zwischen 260Pa und
530Pa eingestellt wird.

35

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,
bei dem ein Hochfrequenz-Feld mit einer Leistung zwischen

200W und 500W zum Erzeugen des Plasmas angelegt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
bei dem ein Niederfrequenz-Feld mit einer Leistung von bis zu
5 300W zum Akkumulieren von Plasma in einem Umgebungsbereich
des Substrats angelegt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12,
bei dem die Flussrate von Silan auf einen Wert zwischen 100
10 und 500 Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13,
bei dem

- das Flussratenverhältnis von Silan zu
15 Distickstoffmonoxid zwischen 1:1 und 25:8 eingestellt
wird;
- das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff
zwischen 1:50 und 1:20 eingestellt wird;
- der Druck in der Verfahrenskammer zwischen 350Pa und
20 430Pa eingestellt wird;
- die Leistung des Hochfrequenz-Feldes auf einen Wert
zwischen 300W und 400W und die Leistung des
Niederfrequenz-Feldes auf einen Wert von bis zu 150W
eingestellt werden.

25 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14,
bei dem

- das Flussratenverhältnis von Silan zu
Distickstoffmonoxid auf ungefähr 13:12 eingestellt wird;
- 30 • das Flussratenverhältnis zwischen Silan und Stickstoff
auf ungefähr 13:800 eingestellt wird;
- der Druck in der Verfahrenskammer auf ungefähr 350Pa
eingestellt wird;
- die Leistung des Hochfrequenz-Feldes auf ungefähr 300W
35 eingestellt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15,

bei dem die Flussrate von Silan auf ungefähr 130
Standardkubikzentimeter pro Minute eingestellt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
5 bei dem als Substrat ein Halbleiter-Substrat verwendet wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17,
bei dem als Substrat ein Silizium-Substrat verwendet wird.

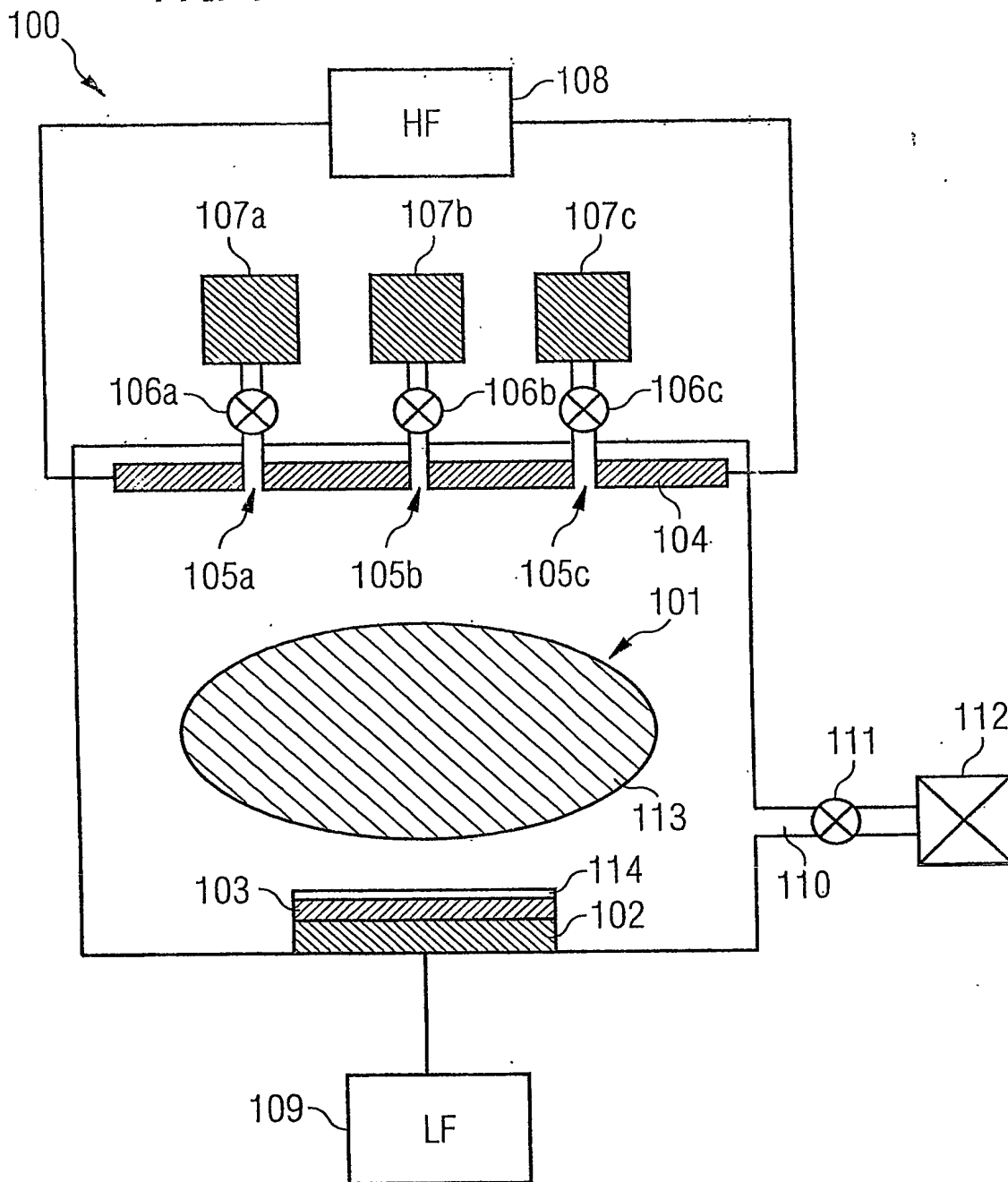
10 19. Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung,
bei dem

- eine erste elektrisch leitfähige Schicht auf einem
Substrat ausgebildet wird;
- eine Siliziumnitrid-Schicht gemäß dem Verfahren nach
15 einem der Ansprüche 1 bis 8 oder eine Siliziumoxinitrid-
Schicht gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 9
bis 16 auf der ersten elektrisch leitfähigen Schicht
ausgebildet wird;
- eine zweite elektrisch leitfähige Schicht auf der
20 Siliziumnitrid-Schicht oder auf der Siliziumoxinitrid-
Schicht ausgebildet wird.

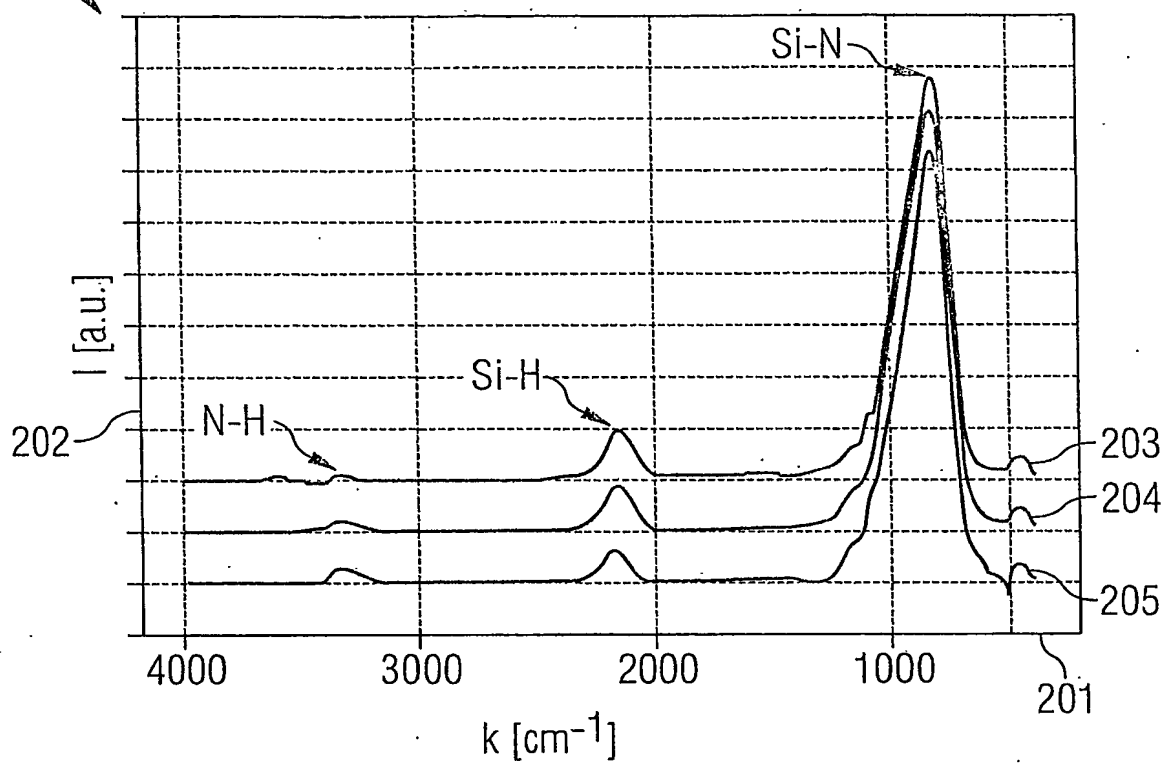
20. Verfahren nach Anspruch 19,
bei dem für das erste und/oder das zweite elektrisch
25 leitfähige Material ein Metall verwendet wird.

21. Schicht-Anordnung,
hergestellt gemäß dem Verfahren nach Anspruch 19 oder 20.

FIG 1



200 FIG 2



300 FIG 3

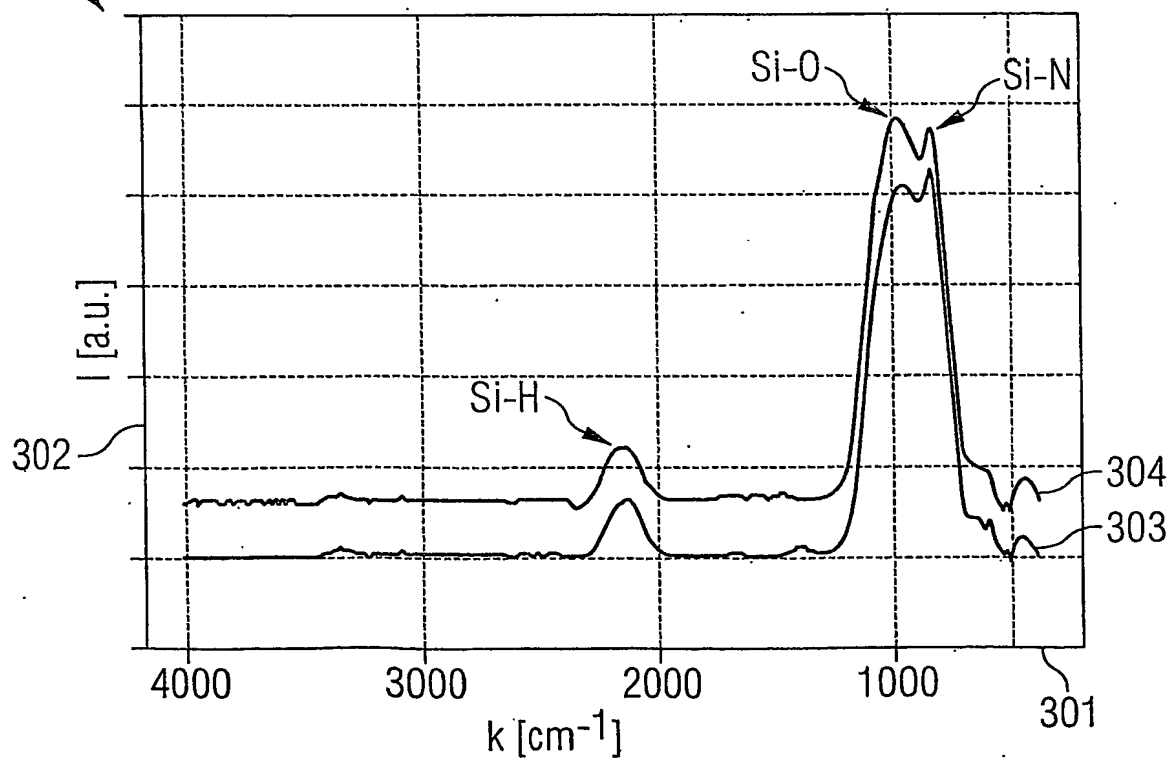


FIG 4

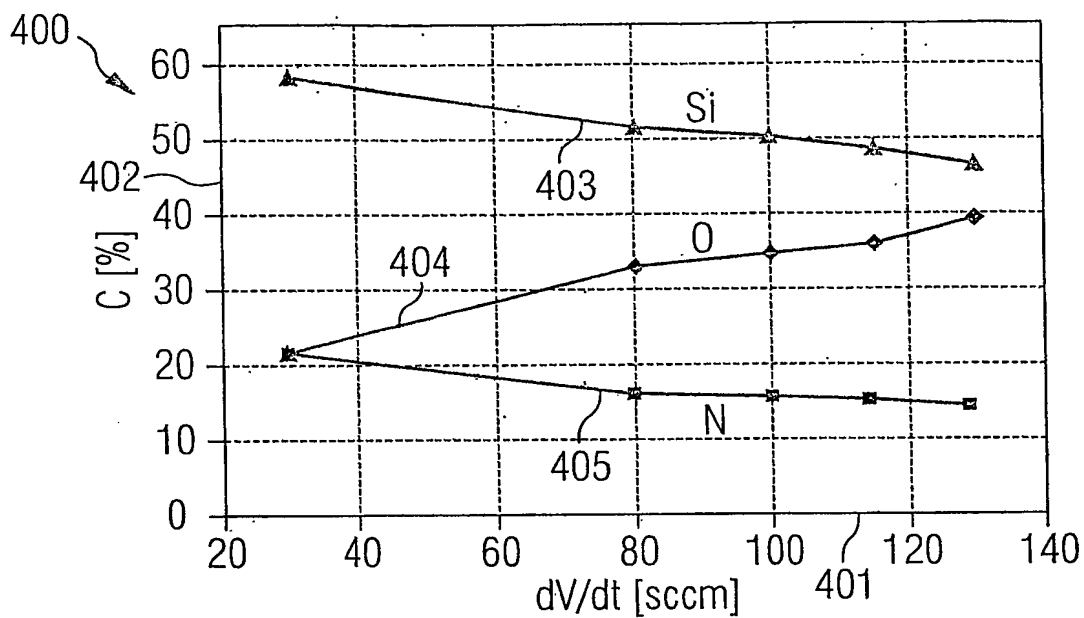


FIG 5A

